

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭМИССИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССАХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ДЛЯ ИХ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ

А.В. Лаптева, В.Г. Лисиенко, Ю.Н. Чесноков, С.А. Загайнов

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
(г. Екатеринбург, Россия)

Предлагаются к использованию интегральные эмиссии диоксида углерода процесса, транзитная и сквозная (углеродный след) для сравнительной оценки коксовых и бескоковых переделов черной металлургии. Диоксид углерода, как образующийся в самом процессе, так и после сжигания вторичных энергетических ресурсов, полученных в этом процессе, рассматривается как интегральная или итоговая эмиссия процесса. Значение такой эмиссии определяется по суммарной массе углерода в шихте с учетом перехода части его в продукт. Диоксид углерода – основная составляющая парниковых газов, образующихся в черной металлургии, так как оксид углерода и метан, которые образуются в процессах черной металлургии, окисляются до диоксида углерода при использовании вторичных энергетических ресурсов.

Ключевые слова: черная металлургия, парниковый газ, диоксид углерода, углеродный след.

Offered to the integral emission of carbon dioxide of the process, transit and cross-cutting (carbon footprint) for the comparative evaluation of coke and coke-free transfer of the business of ferrous metallurgy. Carbon dioxide, formed in the process, and after combustion of secondary energy resources obtained in this process is considered as the integrated or total emission process. The value of this emission is determined by the total mass of carbon in the charge with regard to the transfer of a part of it in the product. Carbon dioxide is the main component of greenhouse gases generated in the steel industry, as carbon oxide and methane, which are formed in the processes of ferrous metallurgy, are oxidized to carbon dioxide when using secondary energy resources.

Keywords: ferrous metallurgy, greenhouse gas, carbon dioxide.

В связи с проблемой парниковых газов Президент Российской Федерации В.В. Путин от 30 сентября 2013 г. издал Указ № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов». На основании этого указа правительство РФ 2 апреля 2014 г. издало распоряжение с планом мероприятий по обеспечению к 2020 г. сокращения объема выбросов парниковых газов до уровня не более 75 % объема указанных выбросов в 1990 г. В черной металлургии в атмосферу в основном отходит парниковый газ – диоксид углерода. Другие углеродсодержащие газы сгорают при реализации вторичных энергетических ресурсов до диоксида углерода. Таким образом, актуальность темы предлагаемой работы подтверждена на государственном уровне.

В современной металлургии широко разрабатываются и внедряются бескоковые технологические процессы, в которых не используется доменный чугун, выплаваемый с применением дорогостоящего кокса, при производстве которого образуется много парникового газа – диоксида углерода.

Однако замена кокса энергетическим каменным углем требует использования большего количества этого угля. Возникает вопрос, какова эмиссия диоксида углерода в бескоксовых процессах по сравнению с таковой в традиционных коксовых технологиях?

Определим углеродный след как сквозную эмиссию диоксида углерода $M_{\text{с}}$, которая является суммой эмиссий CO_2 , последовательно возникающих во всех процессах технологической цепи, начиная с добычи сырья и кончая тем продуктом, для которого эта эмиссия определяется. Эмиссия названа сквозной по той причине, что она является суммой эмиссий CO_2 , которые последовательно возникают во всех процессах технологической цепи, начиная с добычи сырья и кончая тем продуктом, для которого эта эмиссия определяется. Она является суммой интегральных эмиссий CO_2 процесса $M_{\text{п}}$ и транзитной $M_{\text{т}}$.

Таким образом, возникают задачи вычисления количества образованного диоксида углерода с учетом сгорания топлива и окисления углерода шихты в целях сравнения различных металлургических переделов с точки зрения эмиссии диоксида углерода. Существующие методы первого уровня для определения эмиссии диоксида углерода, описанные в руководящих принципах национальных инвентаризаций парниковых газов межправительственной группы экспертов по изменению климата земли (МГЭИК), дают усредненные приблизительные результаты, которые не зависят от условий протекания того или иного технологического процесса, что не позволяет получить нужные результаты для сравнения металлургических переделов. Методы, описанные в технической литературе, более подходят для вычисления эмиссии диоксида углерода предприятия в целом, что опять же затрудняет сравнение сочетаний конкретных переделов. По этим причинам для решения поставленной задачи потребовалась разработка моделей третьего уровня (согласно классификации МГЭИК) по определению эмиссии диоксида углерода по количеству окисленного углерода.

Проблема сравнительного энергопарникового анализа заключается в том, что для ряда современных технологий черной металлургии отсутствуют данные по объемам и составу газообразных углеродсодержащих выбросов (табл. 1). Как видно из табл. 1, прямая эмиссия диоксида углерода имеет

Таблица 1

Данные по прямым углеродсодержащим газообразным выбросам процессов черной металлургии

Технология	Объем/масса	Состав, об. %		
		CO	CO ₂	CH ₄
Доменная печь	1000–2000 м ³ /т чугуна	20–30	12–20	0,5
Конвертер	70–90 м ³ /т стали	83–89	9–11	–
Romelt	Н.д.	19–31	19–35	–
Corex	2115 кг/т металлизир. окатышей	35–45	35–45	1–4
Midrex	1398 кг/т металлизир. окатышей	Н. д.*	Н. д.	Н. д.
HyL-3	Н. д.	Н. д.	Н. д.	Н. д.

*Н. д. – нет данных.

широкие диапазоны значений в различных процессах в зависимости от режима работы агрегатов. Под прямой эмиссией диоксида углерода будем подразумевать его объем или массу на выходе из соответствующего агрегата. Оксид углерода – ядовитый газ, который образуется в соответствующем агрегате, входит в состав вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) и сгорает при их реализации или дожигается в факеле для предотвращения его выброса в атмосферу. При этом образуется диоксид углерода – косвенная эмиссия диоксида углерода. Для сравнения металлургических процессов, с точки зрения образования парниковых газов, необходимо использовать суммарное значение прямой и косвенной эмиссий диоксида углерода – интегральной эмиссии. В этой связи возникает задача разработки методики вычисления интегральной эмиссии диоксида углерода в том или ином процессе, которая позволит сравнивать процессы между собой по значению этой эмиссии.

Понятие интегральной эмиссии диоксида углерода можно пояснить следующими материальными потоками вторичных энергетических ресурсов металлургического комбината (рис. 1). На входе комбината рассматриваем уголь, природный газ и известняк. Все ВЭР используются внутри комбината. Следовательно, итоговая или интегральная эмиссия диоксида углерода комбината за некоторое время определяется количеством окисленного в это время углерода, поступившим на комбинат с углем и природным газом, а также количеством разложившегося известняка в агломерационном процессе. Но можно попытаться эту эмиссию определить, вычисляя прямые (непосредственные) эмиссии от каждого агрегата, в том числе от электростанции, нагревательных печей, кауперов и других агрегатов, в которых сгорают ВЭР, образующихся на выходе коксовой батареи, доменной печи (на рис. 1 других

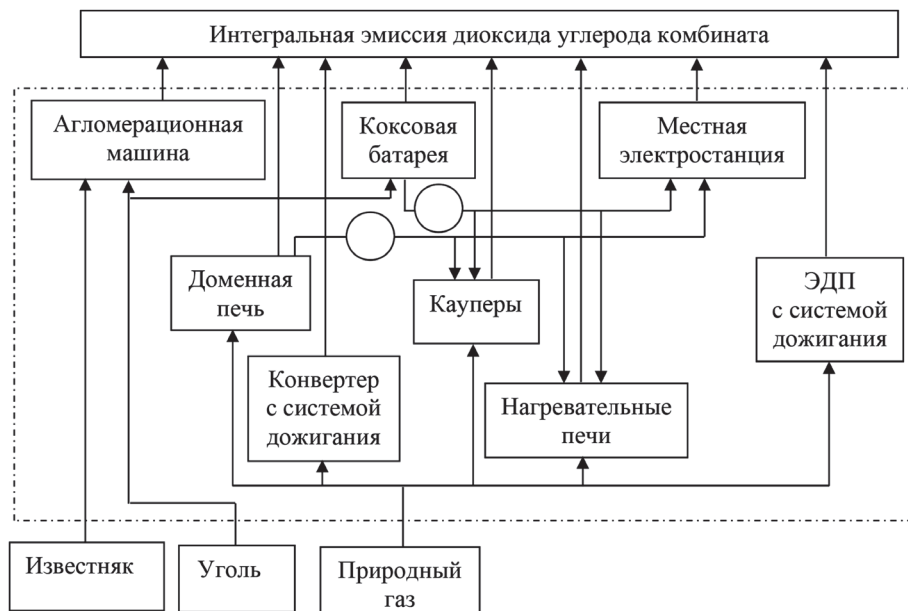


Рис. 1. Образование интегральной эмиссии диоксида углерода металлургического комбината

генераторов ВЭР нет). Как следует из табл. 1, для ряда процессов для таких вычислений нет данных. Из этих двух методов первый (по окисленному углероду) является наиболее простым, более точным и более универсальным (для любого агрегата), так как для него имеются все исходные данные.

Изменим схему потоков ВЭР, предполагая, что все они используются в самом процессе, например, через местную электростанцию (рис. 2). При этом, для исключения двойного счета потоки ВЭР, например, на нагревательные печи, коксовые батареи, кауперы и другие агрегаты из схемы удалены. На схеме итоговые или интегральные эмиссии диоксида углерода тем или иным агрегатом обозначены CO_2^i , которые вычислены с учетом нашего предположения. Сумма CO_2^i при i от 1 до 7 равна итоговой эмиссии комбината, т.е. сумме эмиссий агрегатов, показанных на рис. 1. Следовательно, интегральную эмиссию процесса M_{Π} можно определить по количеству полностью сгоревшего углерода в процессе в допущении того, что все топливные ВЭР сгорают прямо или косвенно в том процессе, для которого определяется M_{Π} . Такой подход повышает точность оценки эмиссии диоксида углерода и упрощает методику сравнения различных пределов по эмиссии диоксида углерода, в том числе тех, для которых нет данных по объемам и составу углеродсодержащих выбросов, но есть данные по расходам топлива.

В этой связи вся масса диоксида углерода, полученного от сгорания топлива в доменной печи, в воздухонагревателях, в котлах местных электростанций, отнесена к доменной печи, т.е. к чугуно. По этой причине эмиссия процесса и эмиссии M_p , M_c названы интегральными. Для исключения двойного счета эмиссии диоксида углерода при расчете эмиссии в доменном процессе исключены эмиссии от электроэнергии, например, для получения кислорода, обеспечения дутья и т.п. Также недопустимо оценивать эмиссии от коксового и доменного газов, которые сгорают в нагревательных печах, в котлах электростанций, так как эта эмиссия учтена в коксовом или доменном переделах.

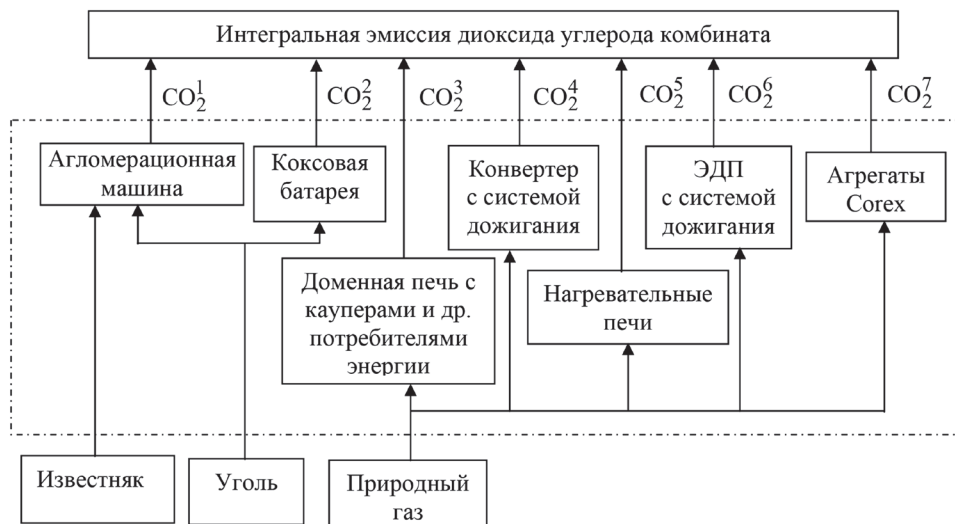


Рис. 2. Образование интегральной эмиссии диоксида углерода металлургического комбината с допущением использования всех ВЭР в самом процессе

На основе изложенного подхода были выведены формулы для расчета интегральных эмиссий CO_2 процессов черной металлургии [1]. Значения сквозных интегральных эмиссий этих процессов вычисляются на основе графовых моделей [1]. В работах [2–6] вычислены значения эмиссий диоксида углерода для ряда сочетаний переделов. Для различных цепей переделов значения сквозных эмиссий диоксида углерода приведены в табл. 2 [7].

Таблица 2

Значения эмиссий диоксида углерода в различных сочетаниях металлургических переделов производства стали

Процесс	Эмиссия CO_2 на 1 т продукции	
	Сквозная массовая, кг	Сквозная объемная, м^3
ЭДП на ломе	482	244
HyL-3 + ЭДП	1125	569
Midrex + ЭДП	1224	619
ДП + ЭДП	1434	725
ЛП-В	1567	793
Romelt + ЭДП	2004	1015
Corex + ЭДП	2018	1021
ДП + конвертер	2307	1167

Выводы

Для сравнительной оценки технологических процессов черной металлургии эмиссию диоксида углерода следует определять по суммарной массе углерода, который окисляется до диоксида углерода как в самом процессе так и при сжигании ВЭР, полученных в этом процессе.

Список использованных источников

1. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями / *Металлург.* – 2012. – № 12. – С. 23–26.
2. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Оценка углеродного следа при выплавке стали в электродуговой печи / *Металлург.* – 2013. – № 9. – С. 23–26.
3. Оре О. Теория графов / О. Оре. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
4. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Математические модели косвенных оценок эмиссии CO_2 в некоторых металлургических процессах / *Сталь.* – 2011. – № 8. – С. 74–77.
5. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Сквозная эмиссия диоксида углерода в тандеме процессов Corex и ЭДП / *Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции «Инженерная экология»*. М., 2011. – С. 50–54.
6. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Сквозная эмиссия диоксида углерода в процессе ХИЛ-3 (HYL-3) / *Сборник докладов I Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (ТИМ'2012) с международным участием «Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве»*. – Екатеринбург: ИМиМ УрФУ, 2012. – С. 155–158.
7. Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В. Анализ энергоемкости и эмиссии CO_2 при различных сочетаниях коксовых и бескоковых процессов с производством стали / *Металлург.* 2015. – № 5. – С. 18–24.